

LA REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL BAIX LLOBREGAT

Joan Compte i Costa

Director General DEPURBAIX
Plaça Francesc Macià, 7, 6è B
08029 Barcelona
Telèfon: 93 363 73 00 ; Fax: 93 322 63 36
E-mail: depurbaix@ctv.es

SUMARIO

El proyecto de Reutilización de las aguas residuales del Baix Llobregat pretende aportar nuevos recursos para ayudar a resolver el problema del déficit hidráulico, para usos ecológicos y ambientales, que sufren las cuencas internas de Cataluña.

Depurbaix, empresa pública dependiente del Ministerio de Medio Ambiente y de la Agencia Catalana del Agua, gestiona la construcción y puesta en marcha de este proyecto de reutilización que se enmarca en los criterios de sostenibilidad de la nueva cultura del agua.

Está previsto poder aportar 50 Hm³/año de agua regenerada de la EDAR del Baix Llobregat que se utilizarían como caudal ecológico del río, sustitución de riego agrícola y mantenimiento de zonas húmedas.

Para que el agua a reutilizar tenga la calidad que estos usos exigen, es necesario ampliar el tratamiento biológico actual para eliminar nutrientes (nitrógeno y fósforo), construir un tratamiento terciario que mejore la calidad del efluente, una estación de bombeo y las conducciones que permitan transportar el agua regenerada hasta sus puntos de aplicación.

Con el fin de resolver el problema de intrusión salina que sufre el acuífero del tramo final del río Llobregat, está previsto usar parte de este agua regenerada para crear una barrera hidráulica contra la intrusión salina. Para ello se construirá una planta de ósmosis inversa que produzca un agua regenerada de calidad adecuada, así como las conducciones y pozos de inyección necesarios para inyectar este agua al acuífero profundo del Llobregat.

Palabras clave: Barrera hidráulica, intrusión salina, reutilización, tratamiento terciario

INTRODUCCIÓN

El agua constituye un recurso escaso y de innegable importancia en todo el territorio catalán y, especialmente, en el ámbito del Área Metropolitana de Barcelona, donde se concentra una gran parte de la población y de la actividad económica e industrial de Cataluña. Más del 60% de los habitantes de Cataluña residen en la mencionada área. En la actualidad los recursos hidráulicos para satisfacer la demanda en el ámbito metropolitano de Barcelona provienen del río Llobregat, de un trasvase desde el río Ter y de recursos subterráneos. Para disminuir el déficit actual para usos ecológicos y ambientales se prefiere aprovechar los recursos existentes a base de reutilizar agua depurada, evitando la sobreexplotación de los recursos subterráneos y/o la construcción de nuevos embalses. Este proyecto pretende compensar una parte de este déficit mediante el incremento de recursos que supone la reutilización de una parte del efluente de la depuradora del Baix Llobregat (Fig.1). Estos nuevos recursos suponen unos 50 Hm³ anuales.



Figura 1. Vista aérea de la EDAR del Baix Llobregat

La puesta en funcionamiento de la EDAR del Baix Llobregat ha permitido consolidar dos objetivos esenciales. En primer lugar, la recuperación del último tramo del río Llobregat, eliminando los vertidos que allí se realizaban. Pero también con la depuración se ha conseguido mejorar la calidad del agua de baño de la zona costera situada entre la desembocadura del río Llobregat y el macizo del Garraf, recuperando para uso ciudadano playas de belleza singular. Al mismo tiempo, su puesta en explotación permite disponer de un importante caudal de agua tratada para poderse reutilizar habiendo pasado previamente por un tratamiento terciario y que constituye la base de este proyecto de reutilización.

La reutilización se emmarca sobretodo en la filosofía de la Directiva Marco del Agua, en los criterios de sostenibilidad y en las políticas que promueven la conservación de los recursos hídricos y en la “nueva cultura del agua”, que incide fundamentalmente en el ahorro del recurso.

Encaja dentro de la política hidráulica del Programa A.G.U.A. de aprovechamiento de las posibilidades de reutilización de las aguas residuales depuradas para aquellos usos compatibles

con su calidad, garantizando los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, siempre con el objetivo de incrementar la oferta de recursos no convencionales.

Las obras se están ejecutando por parte de la sociedad pública Depurbaix, SA. Su presupuesto se eleva a 102 millones de euros. Están financiadas en un 85 % por el Ministerio de Medio Ambiente con ayudas de Fondos de Cohesión de la Unión Europea y el 15 % restante por la Agencia Catalana del Agua.

DEMANDAS Y CALIDADES DEL AGUA REGENERADA

La reutilización de las aguas de la EDAR del Baix Llobregat está prevista para su aplicación como caudal ecológico del río Llobregat, sustitución de caudales de riego, mantenimiento de zonas húmedas y barrera contra la intrusión salina (Fig. 2).



Figura 2. Demandas de agua reutilizada

Los caudales necesarios para satisfacer cada una de estas demandas son los siguientes:

Contribución al caudal ecológico	2 m ³ /segundo
Sustitución caudales riego agrícola	0,75 m ³ /segundo
Mantenimiento de zonas húmedas	0,40 m ³ /segundo
Barrera intrusión salina (1ª fase)	2.000 m ³ /día
Barrera intrusión salina (2ª fase)	20.000 m ³ /día

Todas las demandas, excepto la barrera contra la intrusión salina, son estacionales y sólo son requeridas en tiempo seco, siendo necesario un volumen anual de unos 50 Hm³ en un año de pluviometría media.

En base a estas demandas que se pretende satisfacer, se han dimensionado las instalaciones de tratamiento terciario, impulsión y conducciones para un caudal de 3,5 m³/segundo.

A pesar de que las calidades de agua regenerada que exige cada uso previsto son diferentes, se ha adoptado como criterio producir dos calidades de agua: una destinada a la contribución del caudal ecológico, agua para riego agrícola y mantenimiento de las zonas húmedas, y otra distinta y más exigente para la barrera contra la intrusión salina.

La calidad del agua para caudal ecológico, riego y mantenimiento de zonas húmedas será:

- DBO₅ ≤ 10 mg/l
- MES ≤ 5 mg/l
- Turbidez..... < 5 NTU
- Coliformes fecales < 10 UFC/100ml
- Huevos nemátodos intestinales..... < 1 U/1000 ml
- Cloro residual..... > 0,6 mg/l
- O₂ ≥ 7,5 mg/l

El agua destinada a la barrera contra la intrusión salina será sometida a unos procesos adicionales de microfiltración y ósmosis inversa para conseguir los siguientes valores:

- MES < 1 mg/l
- Turbidez..... ≤ 0,1 NTU
- Coliformes fecales..... < 10 UFC/100ml
- Conductividad < 150 µS/cm

En el diagrama de proceso (Fig. 3) se indican las calidades del agua según el destino que vaya a tener.

DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS

Tratamiento

El agua residual que llega a la depuradora se somete a un tratamiento biológico de fangos activados con eliminación de nutrientes, después pasa al tratamiento terciario, si el agua regenerada se destina a los usos medioambientales y de riego, o bien a la microfiltración y ósmosis, si el agua se usa para la barrera contra la intrusión salina.

Tratamiento biológico

El tratamiento biológico de la depuradora se ha diseñado combinando zonas anaeróbicas, anóxicas y óxicas de manera que se consiga reducir la concentración de nitrógeno y fósforo hasta los límites exigidos al agua regenerada. En el estado tecnológico actual, el sistema más económico de eliminación del contenido de nitrógeno del agua residual es el proceso de nitrificación-desnitrificación por vía biológica.

Por lo que respecta a la eliminación del fósforo, la vía biológica es, así mismo, la más económica aunque la buena práctica aconseja que para garantizar de forma permanente el nivel exigido de P-total en el efluente, es conveniente disponer de un medio de soporte por vía química, es decir, adición complementaria de un reactivo que precipite el fósforo.

El dispositivo de regulación del sistema de aireación se basa en la utilización del caudal de aire como variable de control. Para ello, cada una de las zonas en las que se ha dividido el reactor biológico estará equipada con una sonda de oxígeno disuelto y cada vertedero, de un medidor de caudal y válvula motorizada de regulación. Para el control del funcionamiento de las zonas anóxicas se instalarán dos sondas de potencial redox por tanque.

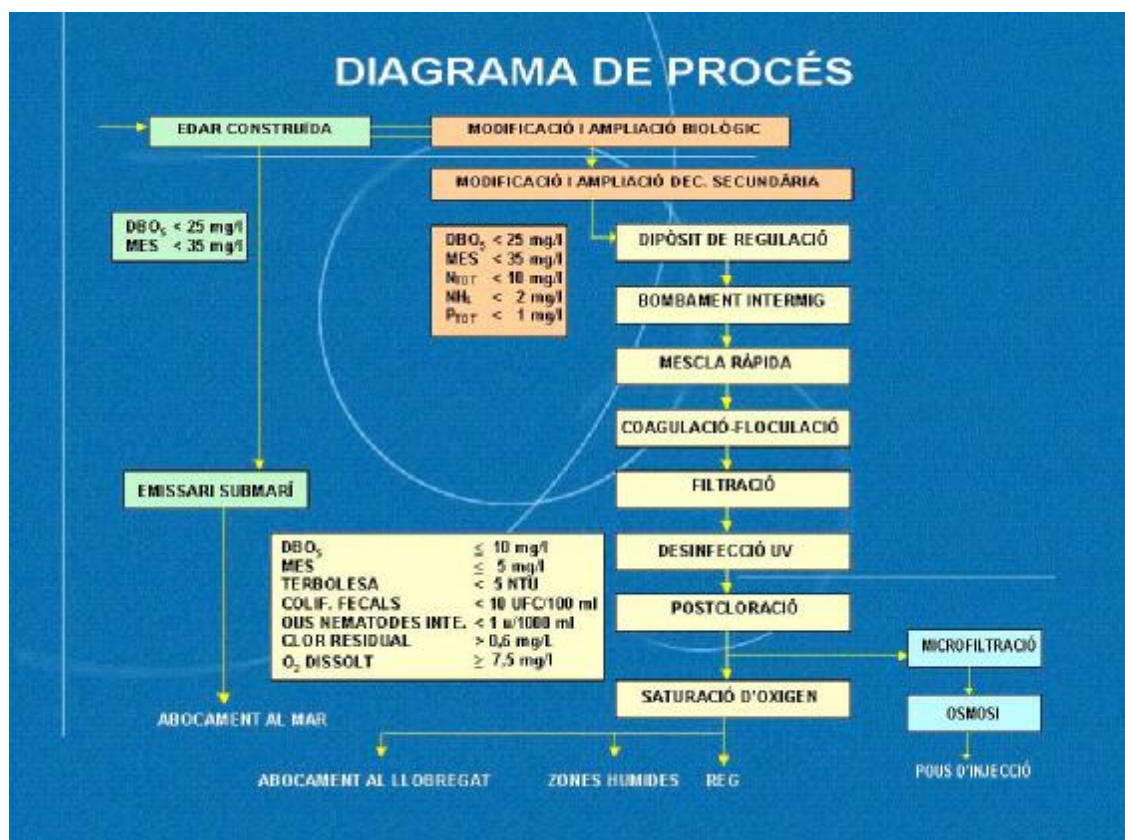


Figura 3. Diagrama de proceso.

Tratamiento terciario

Los procesos unitarios que configuran el tratamiento terciario son:

- Depósito regulador
- Coagulación-floculación lastrada
- Decantación lamelar
- Filtración
- Aireación (oxigenación)
- Desinfección UV

La distribución de los elementos que configuran estos procesos se detallan en la Fig. 4.

1. Obra de presa i sobreixidor d'emergència
2. Emmagatzematge i bombament d'aigua a tractar
3. Arqueta de mesurador de cabal
4. Coagulació-floculació
5. Decantació lamel·lar
6. Filtració
7. Desinfecció de l'efluent
8. Oxigenació
9. Bombament a reutilització
10. Edifici de tractament terciari
11. Osmosi inversa

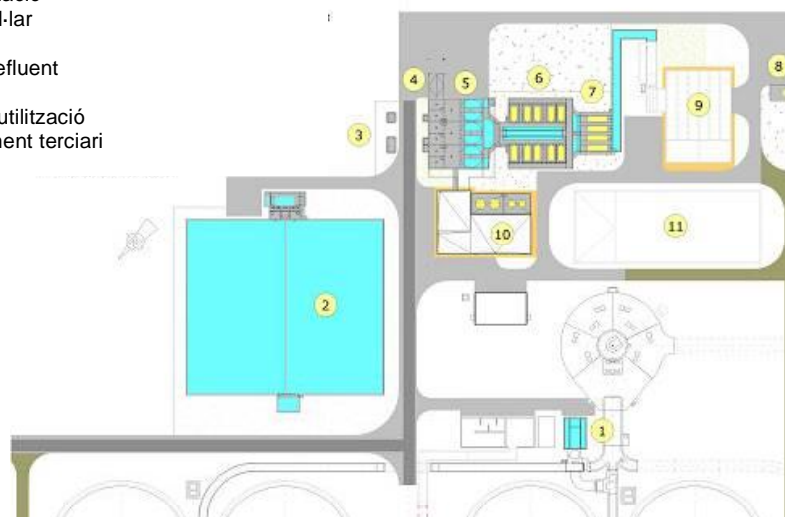


Figura 4. Tratamiento terciario.

Durante el período de un mes, la depuradora del Baix Llobregat ha dispuesto de una planta piloto, que incluía un tratamiento fisicoquímico con decantación lamelar lastrada (proceso Actiflo), y filtración mediante microtamiz de tipo disco con una luz de paso de 10 micras. El propósito de las pruebas fue evaluar la aplicabilidad de los procesos para el tratamiento terciario del agua residual. El objetivo fue, principalmente, obtener un bajo nivel de sólidos en suspensión y de huevos de helmintos parásitos. Las pruebas llevadas a cabo pusieron en evidencia que la combinación de ambos procesos tenía unos excelentes resultados, obteniéndose rendimientos superiores a los requeridos.

Depósito regulador

Con el objetivo de que el tratamiento terciario pueda optimizar la producción diaria de agua regenerada se construye un depósito regulador que permite absorber las puntas de caudal que llegan a la planta depuradora a lo largo del día. En este depósito regulador se coloca un bombeo con variadores de frecuencia que ajuste el caudal de entrada al tratamiento terciario a la suma de las demandas de los diferentes usos del agua regenerada.

Se proyecta un depósito dividido en dos compartimentos de 59,00 m de longitud por 33,00 m de anchura cada uno de ellos, con una altura útil de 4,01 m de agua para el caudal nominal de tratamiento. Para su aislamiento se han previsto compuertas motorizadas. Cada compartimento está provisto de su propio grupo independiente de elevación al tratamiento. El volumen útil del depósito es de 15.600 m³.

Floculación-coagulación

En el tanque de coagulación se inyecta como reactivo sulfato de alúmina. La floculación se compone de dos etapas que se realizan en dos tanques independientes: tanque de inyección y tanque de maduración. En el de inyección, que se llama también de mezcla rápida, las materias en suspensión se ponen en contacto con la microarena gracias a la acción coagulante de un polielectrolito. La mencionada microarena ha sido añadida al mismo tiempo que el coagulante y, gracias a su alta densidad, permite lastrar los flóculos en formación, lo que facilitará de manera importante su capacidad de sedimentación. En el tanque de maduración el flóculo se espesa y finaliza su maduración. Ambos tanques se equipan con mezcladores dinámicos con el fin de mejorar el proceso e impedir sedimentaciones no deseadas.

Decantación lamelar

El decantador lamelar (Fig. 5) es un dispositivo que permite reducir las superficies que serían habitualmente necesarias para conseguir una correcta sedimentación de los flóculos formados en la etapa anterior.

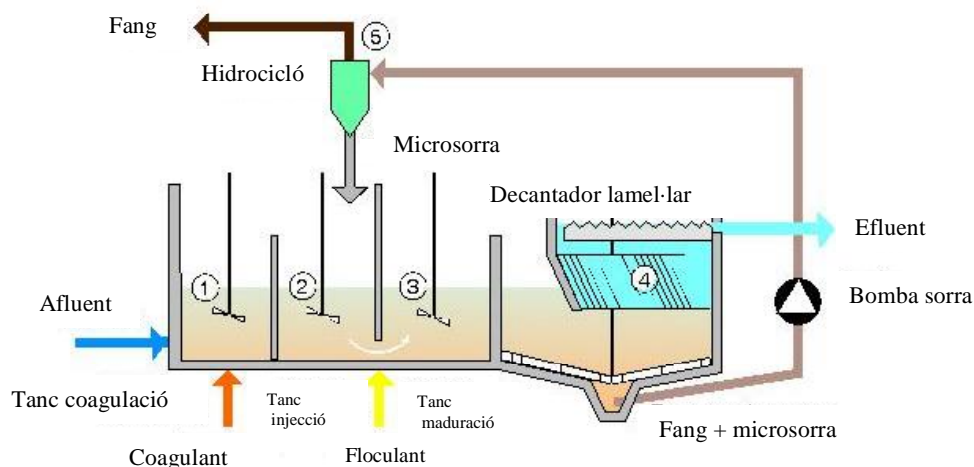


Figura 5. Decantación lamelar

Se introduce el flujo de agua por la parte inferior de un depósito. Se hace circular el agua a decantar a través de unas planchas separadas entre ellas unos pocos centímetros en sentido ascendente. El flóculo se recoge en estas láminas, y, por gravedad y a contracorriente, va hacia el fondo del decantador. El agua decantada se evacúa por la parte superior mediante unos canales de recogida y distribución. Los fangos y la microarena depositados en el fondo del decantador son recogidos por una rasqueta y enviados mediante un dispositivo de bombeo hacia el tratamiento de fangos de la planta. Prácticamente a la llegada a su destino, la microarena que sirve de lastre de los fangos producidos se separa mediante un hidrociclón. El lastre, separado gracias a una clasificación granulométrica, se vuelve a introducir en el proceso en la cámara de coagulación, con lo que se dispone de un circuito de recirculación y reciclaje.

En este proceso unitario, junto con la floculación y la coagulación, se consigue reducir la cantidad de sólidos en suspensión que lleva el agua de salida del tratamiento secundario de la EDAR hasta los niveles de exigencia para su reutilización. La turbidez, parámetro generalmente asociado a los sólidos en suspensión, también se reduce por debajo de los límites exigidos.

Filtración

La filtración se realizará mediante un sistema de microtamizado que, por gravedad, permitirá afinar la calidad del agua de salida (Fig. 6). En particular, una de las características básicas en cuanto a contaminación bacteriológica que se le pide al agua regenerada es el contenido en huevos de nemátodos. Para asegurar la eliminación de los mencionados microorganismos el sistema que ofrece más garantías es la filtración mediante un tamiz de tamaño inferior a 10 micras.

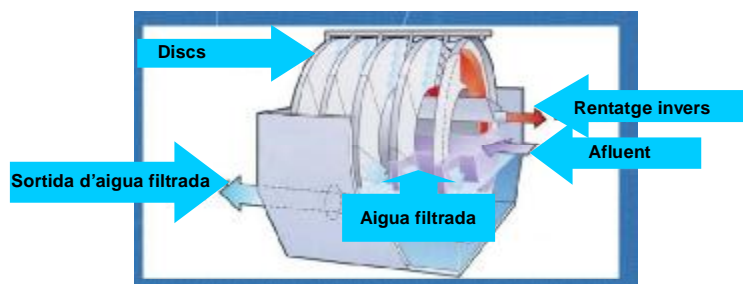


Figura 6. Filtración

Se ha previsto una batería de filtros de disco trabajando en paralelo. Por gravedad, el agua fluye a través de las telas filtrantes desde el centro del disco hacia fuera. Los sólidos son separados de la fracción líquida gracias a las mallas filtrantes fijadas sobre las dos caras de los discos. Cuando el dispositivo presenta una elevada pérdida de carga, se inicia automáticamente un proceso de lavado a presión de las mallas filtrantes.

A su vez, los discos giran con la finalidad de exponer una superficie de malla limpia al flujo de agua a filtrar, permitiendo seguir el proceso de filtración mientras se produce la limpieza del resto de la superficie.

Todas las aguas de lavado se recogen en un depósito desde donde se bombean, junto con los fangos de la decantación lamelar, a la salida de los desarenadores de la depuración de aguas residuales.

Desinfección UV

Se diseña un sistema de desinfección por radiación ultravioleta en canal abierto, con sistema de módulos por incorporación de las lámparas, con una transmitancia UV del 60%.

El sistema tiene 4+1 canales, de 1,905 m de anchura y 10,50 m de longitud de dimensiones unitarias y con 2 bancos por canal. El número de lámparas por banco es de 200, con un total de 1.600 lámparas instaladas.

La desinfección UV se ha proyectado para un caudal de diseño de 12.600 m³/h, con sólidos en suspensión < 5mg/l y transmitancia > 60%.

El sistema de control basado en microprocesadores monitoriza el equipo completo de desinfección, controlando el encendido de los bancos y la potencia de las lámparas.

Aireación

Los estudios realizados sobre el comportamiento del tramo final del río Llobregat han permitido concluir la necesidad de aportar al río un caudal de mantenimiento que tenga un nivel de oxígeno disuelto adecuado y suficiente para el soporte de la fauna prevista. Se requiere una concentración de oxígeno disuelto igual o superior a 7,4 mg/l. Para la oxigenación del efluente se ha previsto la instalación de un tanque criogénico de oxígeno. El oxígeno se dosificará automáticamente en las dos conducciones de impulsión de las bombas de reutilización de las redes 1 (caudal ecológico y canal de la margen derecha) y 2 (riego zonas húmedas de la desembocadura del río Llobregat).

Estaciones de bombeo y conducciones

En el plano de instalaciones de reutilización (Fig. 7) se indica el trazado de las conducciones necesarias para transportar el agua regenerada desde el tratamiento terciario hasta el lugar de uso.



Figura 7. Plano de las instalaciones de reutilización

La conducción principal que lleva el agua para el caudal de mantenimiento del río Llobregat y al canal de riego agrícola tiene su origen en una estación de bombeo colocada en los terrenos de la depuradora. Esta estación de bombeo, al igual que la que provee a las zonas húmedas, utiliza bombas axiales, sumergibles de eje vertical, con variadores de velocidad para cada bomba, mediante convertidores de frecuencia. La longitud total de las conducciones de reutilización (detalle Fig. 8) es de 18,8 Km, siendo la mayor parte de 1.600 mm de diámetro en hormigón con camisa de chapa.

Para aportar el caudal ecológico al río Llobregat o al riego de las zonas húmedas no es necesaria ninguna regulación en su punto de descarga, pero sí que es necesaria una balsa de regulación para los caudales que se destinen al Canal de la Margen Derecha. Esta balsa tiene por objetivo independizar el régimen de explotación de los caudales del canal y de la planta de tratamiento terciario.

La distribución de la inversión en % entre ampliación del biológico para eliminación de nutrientes, tratamiento terciario, bombeo y conducciones sería:

- | | |
|-------------------------|------|
| • Ampliación biológico | 18 % |
| • Tratamiento terciario | 27 % |
| • Bombeo y conducciones | 55 % |

BARRERA CONTRA LA INTRUSIÓN SALINA

Origen y tratamiento de las aguas utilizadas en la barrera

La situación actual de intrusión marina en el delta del Llobregat comporta tomar medidas de urgencia para frenar su avance y mejorar la calidad del agua del acuífero. La corrección de este problema y la protección frente a la intrusión futura, puede conseguirse mediante el aprovechamiento de parte del agua que proviene del tratamiento secundario en la planta depuradora existente del Baix Llobregat, regenerándola e inyectándola para crear una barrera hidráulica ante la intrusión.

De acuerdo con el estudio del análisis hidrogeológico del delta del Llobregat, la cantidad máxima de agua que se puede inyectar al acuífero sin riesgo de producirse ninguna inundación del área es de unos 15.000 m³/día. En la 1ª fase de la planta se producirá un caudal de agua tratada de 5.000 m³/día y la segunda fase se podrá ampliar hasta una producción de 15.000 m³/día.



Figura 8. Conducciones

A continuación se describen los procesos unitarios que se proponen para la regeneración del efluente secundario (Diagrama de flujos, Fig. 9):

- *Tamizado*: el tamiz rotativo propuesto reducirá el contenido de sólidos en suspensión sirviendo de protección adicional al sistema de microfiltración.
- *Precloración*: el correcto funcionamiento del sistema de microfiltración requiere la presencia de cloraminas para el control de la obturación biológica del sistema.
- *Microfiltración*: la microfiltración se utiliza como pretratamiento antes de la ósmosis inversa. Se ha propuesto la utilización de un sistema de microfiltración sumergida. Esta unidad incluirá dos celdas de membranas con el equipo necesario para la operación del sistema de microfiltración y de contralavado. Cada cierto tiempo se realiza también una

limpieza química para eliminar la capa residual que se acumula en las membranas y que no se desprende con el contralavado.

- *Depósito intermedio:* debido al funcionamiento semicontínuo de la microfiltración y ósmosis inversa provocado por las limpiezas, resulta necesario disponer de un depósito de regulación entre ambas unidades.
- *Bombeo de baja presión:* el sistema de ósmosis inversa seleccionado requiere, para su adecuado funcionamiento, de una presión mínima de 3 bares a su entrada.
- *Ósmosis inversa:* cada sistema de ósmosis inversa constará de un pretratamiento químico (condicionador + cartucho de filtración + antiincrustante), bombas de alta presión, membranas de ósmosis inversa y de un sistema de limpieza, todo ello adaptado a los caudales de producción. El rechazo generado en la ósmosis inversa es evacuado mediante la conexión a la evacuación de los rechazos de la microfiltración. La ósmosis inversa consta también de un sistema de lavado químico que se utiliza periódicamente y que se adjunta con el rechazo.
- *Desinfección por luz ultravioleta:* el agua osmotizada tendrá, teóricamente, las concentraciones adecuadas para un agua regenerada a inyectar en el acuífero. No obstante, se propone una desinfección por luz ultravioleta para garantizar las concentraciones de salida.

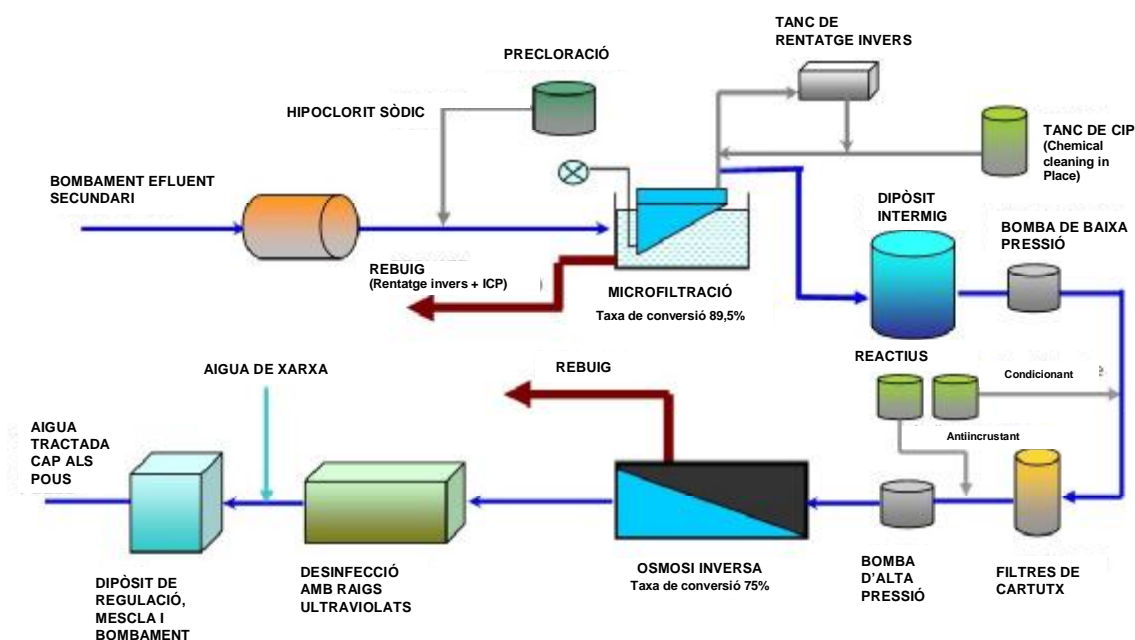


Figura 9. Diagrama de flujos

Elementos de transporte del agua hasta los puntos de inyección

El agua regenerada se transporta hasta los puntos seleccionados para la inyección mediante un bombeo y una serie de colectores.

La estación de bombeo se dimensionó en función del caudal y la presión necesarias para una correcta inyección del agua en el acuífero profundo, con bombas sumergibles en funcionamiento semicontínuo.

Los colectores proveen de agua a los pozos de inyección situados entre la margen izquierda del nuevo lecho del río y la Zona Franca para que éstos la inyecten a una profundidad media de 55 metros en el acuífero profundo.

Descripción de los pozos de inyección

Se prevee que los pozos de inyección se construyan mediante una perforación de unos 60 metros de profundidad. Se ha previsto una camisa de acero naval perforada de 610 mm de diámetro para la formación de su cavidad principal. En su interior se ha definido una conducción DN-90 mm en acero inoxidable hasta una profundidad media de 55 metros y una segunda conducción DN-110 mm en acero inoxidable hasta una profundidad de 60 metros para el sistema de limpieza y antiobturación. En el extremo final de la conducción DN-110 mm se ha previsto la colocación de una bomba sumergible de 37 kW de potencia. Se han definido conducciones para el relleno con gravas calibradas (\varnothing 12-15 mm) en el perímetro del pozo y para la inspección mediante cámara sumergible. En la parte superior se ha diseñado una sala de maniobra donde se ha previsto la instalación de dos caudalímetros (entrada y salida), electroválvulas de cierre o maniobra, sensor de presión y piezómetro, entre otros elementos.

Se prevee que todo este sistema sea telegestionado desde el control principal, situado en el edificio de regeneración de la planta depuradora del Baix Llobregat. El control se realizará mediante un sistema de autómatas programables, gobernados mediante un soporte informático o sistema Scada. El sistema de barrera está diseñado para funcionar las 24 horas del día, estableciendo pausas técnicas de mantenimiento del sistema de regeneración y limpieza producido por la posible obturación de los puntos de inyección (Fig. 10).

Esta 1ª fase registrará los parámetros de funcionamiento necesarios para su aplicación a la futura ampliación de la mencionada barrera.



Figura 10. Instalación de pozo de inyección

Inversión prevista

El presupuesto total es de 7.100.000 € el cual queda dividido en los siguientes capítulos (Tabla 1):

Capítulos	Porcentaje (%)
Tratamiento del agua y bombeo general	50
Conducción de impulsión general y pozos de inyección	23
Instalación eléctrica y control, puesta en marcha, medidas correctoras, seguridad y salud, etc.	18
Plan de seguimiento	9

Tabla 1. Porcentajes de inversión por capítulos

CONCLUSIÓN

La reutilización de las aguas de la EDAR del Baix Llobregat ayudará a paliar el déficit hídrico que sufren las cuencas internas de Cataluña, ya que las aguas regeneradas de la depuradora suponen la disponibilidad de un nuevo recurso que se destina para riego agrícola y usos ambientales, contribuyendo de forma decisiva a la recuperación ambiental del delta del Llobregat.

Para conseguir la calidad requerida del agua, según los usos a los que se destina, se construyen dos tratamientos terciarios diferentes con las tecnologías más idóneas en cada caso, siendo el proyecto de la barrera hidráulica contra la intrusión salina un proyecto nuevo en España, en el que el agua regenerada que se utiliza para inyectar en los pozos se obtiene a través de un proceso de microfiltración y ósmosis inversa. Este proyecto puede servir de ejemplo para extrapolar su experiencia a otras regiones litorales con problemas similares de intrusión salina.